

Los travertinos de Baños de Mula (Murcia). Una roca de interés sedimentológico y arqueológico

Travertine of Baños de Mula. A stone with sedimentological and archaeological interest

M^a Ángeles García-del-Cura^{1,2}, David Benavente^{2,3}, Javier Martínez-Martínez^{2,3} y Salvador Ordóñez^{2,3}

¹ Instituto de Geociencias, IGEO, CSIC, UCM C/ José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid, España. agcura@geo.ucm.es

² Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada UA-CSIC. Ap 99. 03080 Alicante, España.

³ Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Ap 99. 03080 Alicante, España.
david.benavente@ua.es, javier.martinez@ua.es, salvador@ua.es

ABSTRACT

The coloured travertine of the Baños de Mula, were used as dimensional stone among other sites in the Roman Theatre in Cartagena (Red Mula Travertine). This rock has good mechanical properties and water behavior. These properties show strong anisotropy related to the characteristic bedding planes visually defined by changes in the color intensity and pore distribution. Their textural features show the prevalence of layers consisting of fibrous and fibrous-radiated crystals with a late stage cementing Fe oxyhydroxides and micritic aggregates following colonial bacterial morphologies. Both features may be related to bacterial activity. All these data point in favor of a genesis related upwelling of thermal waters. These hydrothermal processes are connected with hydrothermal circulation along the active faults, and are manifested at present in the hot springs of Baños de Mula.

Key-words: Travertine, Red Mula Travertine, petrophysical properties, dimension stone, thermal spring carbonates

RESUMEN

Los travertinos coloreados de Baños de Mula fueron utilizados como roca dimensional entre otros sitios, en el Teatro Romano de Cartagena (Travertino Rojo de Mula). Esta roca tiene buenas propiedades mecánicas y buen comportamiento hídrico. Estas propiedades presentan fuerte anisotropía, relacionada con su característica estructura bandeada definida visualmente por cambios en la coloración y en la distribución de los poros. Sus características texturales, muestran el predominio de niveles constituidos por cristales fibrosos y fibroso-radiados, con una fase cementante tardía de oxihidróxidos de Fe, así como morfologías micríticas del tipo de colonias bacterianas. Ambos rasgos pueden relacionarse con actividad bacteriana. Todos estos datos apuntan a favor de una génesis relacionada con aguas termales. Este hidrotermalismo está en relación con fallas activas y se mantiene activo en la actualidad (Balneario de Baños de Mula).

Palabras clave: Travertino, Travertino Rojo Mula, propiedades petrofísicas, roca dimensional, carbonatos de fuentes termales.

Geogaceta, 56 (2014), 75-78.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 4 de febrero de 2014
Fecha de revisión: 29 de abril de 2014
Fecha de aceptación: 30 de mayo de 2014

Introducción

Los travertinos en la acepción más aceptada del término, son rocas carbonáticas, cuyo rasgo más característico es el bandeado, más o menos neto y de espesor variable, definido por la presencia de bandas de diferentes texturas, tanto cristalinas como micríticas. En el término de Baños de Mula, en el cerro de la Almagra (Fig. 1), se encuentran restos de actividad extractiva de travertinos coloreados, con huellas de explotación del tipo de las huellas características de la cantería de mediados del siglo XX (Fig. 2). No existen referencias de co-

mercialización reciente de estos travertinos. Travertinos coloreados constituyen la culminación del Cerro del Castillo, donde se encuentra la llamada Fortaleza de Alcalá, en el término de Puebla de Mula situado a pocos kms (Fig. 1). Travertinos de características similares, a simple vista, a los situados en la explotación antes citada, se encuentran en el Teatro Romano de Cartagena constituyendo columnas, capiteles y otras piezas constructivas (Soler Huertas, 2005; García-del-Cura *et al.*, 2010). Existen otras referencias arqueológicas de materiales de este tipo, denominado "Travertino Rojo de Mula" (Soler Huertas, 2005).

El objetivo de este trabajo es aportar datos sobre las propiedades de esta roca como material de construcción (roca dimensional) y sobre sus características petrográficas-mineralógicas con vistas a establecer su génesis.

Marco geológico

Los afloramientos de travertinos están situados entre las localidades de Baños de Mula y Puebla de Mula (Murcia), en la denominada cuenca Neógeno-Cuaternaria de Archena - Mula (Loiseau *et al.*, 1990), considerada una subcuenca de la cuenca de



Fig. 1.- Situación geográfica de los travertinos del Cerro de la Almagra (cantera) y del Cerro del Castillo.

Fig. 1.- Geographical setting of travertines from the Cerro de la Almagra (quarry) and the Cerro del Castillo.

Fortuna (Meijninger, 2007). Se trata de una cuenca posttectónica ubicada en una zona con tectónica activa (Martínez-Díaz *et al.*, 2002) y fuentes termales como las que constituyen los Baños que dan nombre al pueblo de Baños de Mula. Estas manifestaciones hidrotermales se consideran relacionadas con la anomalía de gradiente geotérmico (75-250°C/km) asociada al accidente límite que cruza en diagonal la cuenca y que está constituido por dos fallas subparalelas: la denominada "Falla Límite", también llamada falla Mula-Archena y la falla Tollos-Rodeos (Silva *et al.*, 1996; Martínez-Díaz *et al.*, 2002) ambas de importante componente vertical. En la zona SO de la Fortaleza de Alcalá (Pueblo de Mula) aparece un dique de "fortunitas" de dirección ONO. Las surgencias termales de Archena y Zarzadilla de Totana también están relacionadas con la Falla Límite.

El río Mula, cuya acción erosiva define los actuales afloramientos de travertinos es un ejemplo de desarrollo y evolución del drenaje en zonas tectónicamente activas (Silva *et al.*, 1996), su coincidencia con la zona de descarga hidrotermal rica en carbonatos podría ser la causa de los travertinos y edificios tobáceos que se desarrollan en la zona de Baños de Mula donde el cauce del río coincide con la Falla Límite.

En la margen derecha del río Mula, se encuentra un relieve, a modo de cerro testigo, sobre el que se sitúa la Fortaleza de Alcalá, cota 364 s.n.m. (+100m) y coordenadas 38°01'52,04"N, 1°26'17,10"O, con una extensión aproximada de 600 m². En la margen izquierda del río se encuentra el cerro de la Almagra, cota 256-257 s.n.m (+50 m) y coordenadas 38°02'14,59"N, 1°25'58,57"O y una superficie mayor de 30.000 m². Ambos afloramientos (Fig. 1)

son Bienes de Interés Cultural (BIC) de la región de Murcia por razones arqueológicas e históricas.

Estos afloramientos no están cartografiados como tales en el Mapa Geológico 1:50.000 (Jerez Mir *et al.*, 1974): el cerro de la Almagra se cartografía como cuaternario indiferenciado y el cerro del Castillo como un nivel resistente del Terciario Superior (areniscas, calizas y conglomerados) análogo a otros niveles resistentes de la zona.

En el Cerro de la Almagra la parte visible del conjunto de travertinos coloreados supera los 15 m, si bien el espesor cantariado observable es sensiblemente inferior, de unos 6 m (Fig. 2).

En la parte superior aparecen más de 2 m de tobas y en la parte inferior aparece material terroso muy ferruginizado.

El espesor del travertino visible en el cerro del Castillo es superior a 10-15 m, si bien su estrecha relación con los muros de la fortaleza hace difícil evaluarlos con exactitud.

Tanto en el cerro del Castillo como en el cerro de la Almagra, aparece sobre la superficie lateral del cerro un coluvión con bloques desprendidos de los farallones. Estos bloques con dimensiones de 1 a 3 m pueden llegar a constituir recursos de roca ornamental.

En ambos cerros, por debajo de los travertinos, hemos encontrado margas, de color gris azulado en el Cerro de la Almagra con cocolitofóridos y más blancas en el Cerro del Castillo, ambas, además de calcita contenían dolomita ferrífera, ilita y caolinita. En las margas del Cerro del Castillo en algunos niveles, así como en vénulas, se encuentra yeso.

Estos travertinos se sitúan sobre el relleno Neógeno de la Cuenca de Mula atribuido por Viseras *et al.*, (2004) a una segunda etapa de sedimentación neógena que abarca temporalmente desde el Mioceno superior al Cuaternario.

De los datos paleontológicos existentes situados en materiales detríticos, posiblemente correspondientes a terrazas fluviales, suprayacentes sobre las margas gris azuladas de Baños de Mula (Agustí *et al.*, 1990) se deduce una edad Pleistoceno para los travertinos.

Metodología

Los materiales travertínicos han sido estudiados mediante microscopía óptica de polarización (MOP) de secciones delgadas, con un microscopio Zeiss Axioscop, y mediante microscopía electrónica de barrido, trabajando a bajo vacío, en modo de electrones retrodispersados de probetas pulidas, secciones delgadas y fracturas planas con una microscopía de presión variable Hittachi

Fig. 2.- Frente de cantera de los travertinos del Cerro de la Almagra. En el horizonte el Cerro del Castillo de Puebla de Mula.

Fig. 2.- Quarry face of Cerro de la Almagra. On the horizon the Cerro del Castillo de Puebla de Mula.



S3000N equipado con un detector para microanálisis de energías dispersivas (EDS) Bruker modelo XFlash 3001.

Los parámetros petrofísicos han sido determinados según las correspondientes normas UNE-EN (ver detalles en García-del-Cura *et al.*, 2012), y el sistema poroso se caracterizó con un porosímetro de mercurio Autopore IV 9500 Micromeritics, en el rango de radios de poros de 0,002-100 μm .

Datos

Caracterización petrográfica

Según la clasificación simplificada de García-del-Cura *et al.* (2012) de facies travertínicas con vistas a la descripción de travertinos como materiales de construcción, las facies presentes en los travertinos estudiados son fundamentalmente bandeadas, capas entre 1 -10 cm (Fig. 3) con indicios de facies criptolaminadas, observándose facies laminadas preferentemente en la parte superior de los travertinos del Cerro de la Almagra.

Las bandas están constituidas por mesocristales de calcita, fibrosos (paralelos) y

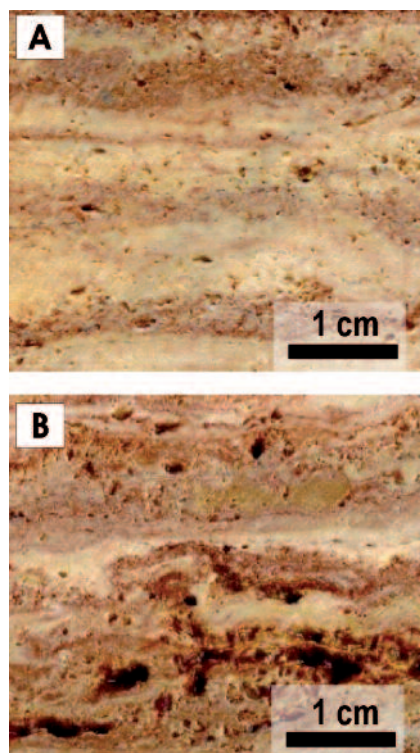


Fig. 3.- Ejemplos de mesofacies bandeadas del travertino del Cerro de la Almagra. En A se observa alguna estructura criptolaminada.

Fig. 3.- Examples of banded mesofacies of travertine from the Cerro de la Almagra. In A some cryptolaminated structure is observed.

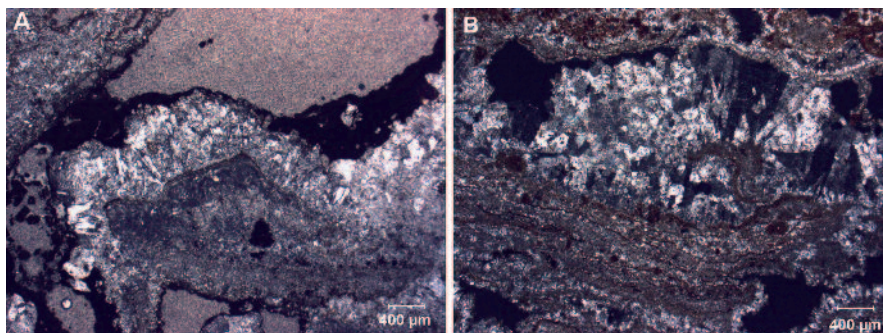


Fig. 4.- Fotomicrografías de MOP. A) nicóles paralelos, B), nicóles cruzados. En ambas se observan cristales fibrorradiados y oxihidróxidos de hierro: cemento en A y asociados a capas micriticas en B.

Fig. 4.- Optical (MOP) microphotographs: A) parallel polarized light, B) crossed polarized light. In both they are fibroradiate crystals and Fe-oxyhydroxides: cement in A and associate to micrite layers in B.

fibrorradiados, y micrita con estructuras arborescentes o trombolíticas características de formas coloniales principalmente bacterianas (Chafetz y Folk 1984; Chafetz y Guidry, 1999). También se observan laminaciones de tipo estromatolítico que pueden llegar a estar fracturadas (Fig. 4A) y en ocasiones presentan oxihidróxidos de hierro (Fig. 4B). Los oxihidróxidos de hierro constituyen a veces una fase cementante posterior al carbonato (Fig. 4A). Ésta puede manifestarse como formas grumelares e incluso como bastones de aspecto bacteriano que presentan oxihidróxidos de hierro recubriendo cristales de calcita (Fig. 5). También como fase cementante hemos observado celestina y baritina (Fig. 6).

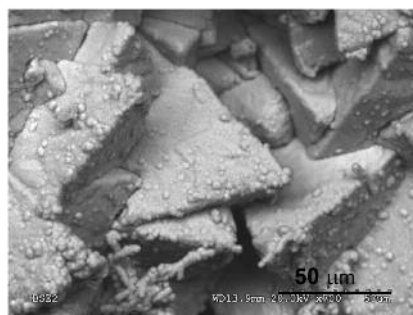


Fig. 5.- Fotomicrografía de MEB en modo de electrones retrodispersados mostrando cristales de calcita recubiertos por oxihidróxidos de hierro.

Fig. 5.- SEM-bse microphotographs of calcite crystals recovered by Fe-oxyhydroxides.

Caracterización petrofísica

El sistema poroso varía con el predominio de una u otra facies. La porosimetría que se muestra en la figura 7 corresponde a la facies más representativa del afloramiento de la cantera del Cerro de la Almagra y en ella se ve la existencia de varias fa-

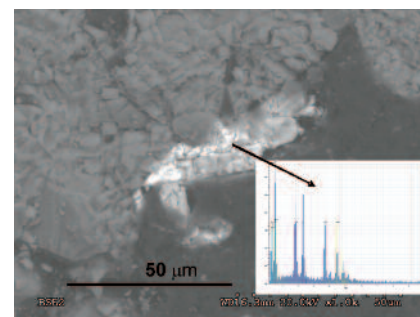


Fig. 6.- Fotomicrografía de MEB en modo de electrones retrodispersados mostrando cristales de baritina y celestina en un poro y su correspondiente composición (EDS).

Fig 6.- SEM-bse microphotographs of barite and celestine in a pore and its EDS composition.

milias de tamaño de poro. Dicha facies es bandeada y tiene una porosidad conectada de 10,01 %. Presenta una distribución de poros polimodal y está asociada a las texturas descritas anteriormente. Destaca una primera familia en el rango de tamaños de poros entre 0,005-0,05 μm , que se atribuye principalmente a la porosidad intercrystalina definida por la micrita. Una segunda familia menos seleccionada entre 0,05-2 μm es definida por mesocristales de calcita. Final-

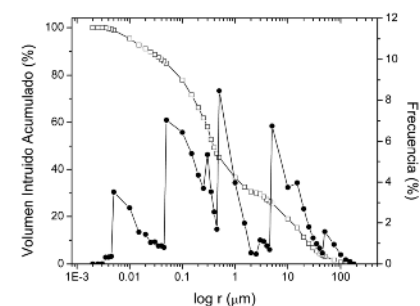


Fig. 7.- Distribución del tamaño de poro de una muestra característica del travertino del Cerro de la Almagra.

Fig. 7.- Pore size distributions of a representative sample of Cerro de La Almagra travertine.

mente, los poros de mayor tamaño (>2 m) son básicamente porosidad fenestral

Los coeficientes de absorción capilar son relativamente bajos debido a su baja porosidad y conectividad entre los poros. El travertino de Baños de Mula, muestra una ligera anisotropía en el transporte de agua por capilaridad condicionada por su textura bandeada, donde los valores de coeficiente capilar son mayores en la dirección paralela al bandeo ($19,48 \pm 6,06 \text{ g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}$) que en la dirección perpendicular ($13,08 \pm 6,72 \text{ g/m}^2\cdot\text{s}^{0.5}$).

Esta anisotropía también se manifiesta en las transmisión de ultrasonidos, presentando un coeficiente de anisotropía ultrasónica (Martínez-Martínez *et al.*, 2011) de $0,96 \pm 0,03$.

Tanto la resistencia a compresión como la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas presenta diferentes valores según la dirección considerada (Tabla I) de ahí la importancia de la dirección de corte y de la colocación respecto de la estructura de los travertinos con vistas a obtener de ellos unas mejores prestaciones. Estas variaciones, son similares a las encontradas en otros travertinos comercializados como roca ornamental (Benavente *et al.*, 2009; Török y Vásárhelyi, 2010, entre otros). La porosidad de las bandas influye también en sus propiedades físicas y especialmente en el comportamiento mecánico en húmedo de este tipo de materiales (Török y Vásárhelyi, 2010).

Discusión y conclusiones

Las características de estas rocas coinciden con las que Pentecost y Viles (1994) atribuyen a los "*thermogene travertines*", cuyo CO₂ procede de un ámbito generador endógeno que se manifiesta en superficie como fuentes termales. De los datos de campo obtenidos, aún incompletos, respecto de la distribución de estas facies, de sus características petrográficas y geomorfológicas ("Plateau Travertínicos") cabe pensar, en principio, en un modelo de génesis similar al enunciado por De Filippis *et al.* (2013): sedimentos lacustres generados en relación con surgencias de aguas calientes en relación con fallas activas. En especial la presencia de cristales fibrosos paralelos y fibrorradiados abogarían por esta hipótesis

PROPIEDADES	Facies bandeada	
	Paralelo	Perpendicular
Densidad (g/cm ³)	2,33±0,05	
Porosidad (%)	10,01±1,40	
Coefficiente de Absorción capilar (g/m ² ·s ^{0.5})	19,48±6,06	13,08±6,72
Resistencia a compresión (MPa).	44,64±6,09	57,24±10,51
Vp (m/s)	5516,25±154,82	5313,89±151,45
Vs (m/s)	2992,11±71,00	2910,64±75,44
Coefficiente de anisotropía ultrasónica (adimensional)	0,96±0,03	

Tabla I.- Propiedades físicas del travertino de Baños de Mula.

Table I.- Physical properties of Baños de Mula travertine.

(Brasier, 2001; Gandin y Capezzuoli, 2014). Esperamos corroborar esta hipótesis con datos adicionales, especialmente geoquímicos (isótopos estables). Tanto las observaciones mineralógicas como las texturales, y su comparación con texturas estromatolíticas, prevén que en un futuro se puedan hacer aportaciones a dicho modelo.

Respecto a las características del travertino de Baños de Mula como roca ornamental, cabe destacar su buena resistencia mecánica, especialmente cuando los esfuerzos deformantes son perpendiculares a la estructura general de la roca y su aceptable comportamiento hídrico, propiedad que también tiene carácter anisótropo (Tabla I).

Agradecimientos

A Gregorio Romero, de la Consejería de Cultura y Turismo de la Región de Murcia, que nos acompañó en el muestreo de la cantera de La Almagra. A los Drs Sebastián Pardo y Alonso Rodríguez revisores de este trabajo, y al Dr Arenillas (editor) por su contribución a la mejora de este manuscrito. Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por el proyecto Geomateriales (P2009/MAT-1629) de la Comunidad de Madrid.

Referencias

- Agustí, J., Freudenthal, M., Lacomba, J.I., Martín Suarez, E. y Nágeli, C. (1990). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 3, 289-343.
- Benavente, D., Medina-Lapeña, F.J., Martínez-Martínez, J., Cueto, N. y García-del-Cura, M.A. (2009). *Geogaceta* 46, 147-150.
- Brasier, A.T. (2011). *Earth-Science Reviews* 104, 213-239.
- Chafetz, H.S. y Folk, R.L. (1984). *Journal of Sedimentary Petrology* 54, 289-316.
- Chafetz, H.S. y Guidry, S.A. (1999). *Sedimentary Geology*, 126, 57-74.
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Soligo, M. y Tuccimei, P. (2013). *Earth-Science Reviews* 123, 35-52.
- Gandin, A. y Capezzuoli, E. (2014). *Sedimentology* 61, 264-290.
- García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martínez-Martínez, J. y Rodríguez García, M.A. (2010). *Roc-Maquina*. Mayo-Junio 2010, 124, 46-49.
- García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Martínez-Martínez, J. y Cueto, N. (2012). *Construction and Building Materials* 28, 456-467.
- Jerez Mir, L., Jerez Mir, F. y García-Monzón, G. (1974). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 912 (Mula) y memoria*. IGME, Madrid, 65 p.
- Loiseau, J., Ott d'Estevou, P. y Montenat, C. (1990). *Documents et Travaux de l'Institut Géologique Albert de Lapparent (IGAL)*, 12-13, 287-301.
- Martínez-Díaz, J.J., Rigo, A., Louis, L., Capote, R., Hernández-Enrile, J.L., Carreño E. y Tsige, M. (2002). *Boletín Geológico y Minero* 113, 23-33.
- Martínez-Martínez, J., Benavente, D. y García-del-Cura, M.A. (2011). *Engineering Geology* 19, 84-95.
- Meijninger, B.M.L. (2007). *Geologica Ultraiecitina*. Comunicaciones de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad de Utrecht, 269, 176 p.
- Pentecost, A. y Viles, H.A. (1994). *Geographie Physique et Quaternaire* 48, 305-14.
- Silva, P.G., Mather, A.E., Goy, J.L., Zazo, C. y Harvey, A.M. (1996). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 9(3-4), 269-283.
- Soler Huertas, (2005). *Verdolay* 9, 141-144.
- Török A. y Vásárhelyi, B. (2010). *Engineering Geology* 115, 237-245.
- Viseras, C., Soria, J.M. y Fernández, J. (2004). En: *Geología de España*. (J.A. Vera, Ed.), SGE, Madrid, 576 - 581.